

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-242104
(43)Date of publication of application : 07.09.2001

(51)Int.Cl. G01N 23/225
H01J 37/12
H01J 37/29
H01L 21/66

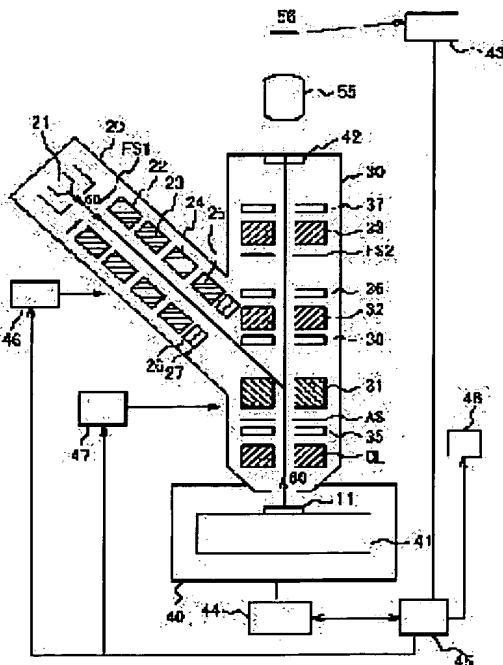
(21)Application number : 2000-049305 (71)Applicant : NIKON CORP
(22)Date of filing : 25.02.2000 (72)Inventor : NISHIMURA HIROSHI

(54) CHARGED PARTICLE BEAM MICROSCOPE, FLAW INSPECTION DEVICE AND METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a charged particle beam microscope, capable of continuously changing the aspect ratio and the size of illumination visual field, a flaw inspection device and a method for manufacturing a semiconductor device.

SOLUTION: The charged particle beam microscope is equipped with an illumination optical system for illuminating the surface of a sample (material body surface) by the primary beam from a charged particle source via a primary optical system, having multi-electrode element lenses and a Wien filter ($E \times B$) and a mapping projection optical system (secondary optical system), forming electrons generated from the illuminated surface of the sample (material body surface) into an image on an image surface, the multi-electrode element lenses of the primary optical system are arranged at least over four stages.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(11)Publication number : 2001-242104

(43)Date of publication of 07.09.2001
application :

(51)Int.Cl. G01N 23/225

H01J 37/12

H01J 37/29

H01L 21/66

(21)Application number : 2000-049305 (71)Applicant NIKON CORP

(22)Date of filing : 25.02.2000 (72)Inventor : NISHIMURA HIROSHI

* NOTICES *

JPO and NCIPI are not responsible for any

damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The primary optical system which has a multipole lens for the primary beam from the source of a charged particle, and the illumination-light study system illuminated to a sample side (body side) through the Wien filter (ExB), The charged particle beam microscope under which it is the charged particle beam microscope equipped with the map projection optics (secondary optical system) which carries out image formation of the electron generated from the illuminated this sample side (body

side) to the image surface, and the multipole lens of said primary optical system is characterized by arranging at least four steps.

[Claim 2] Defective test equipment characterized by coming to have a charged particle beam microscope according to claim 1.

[Claim 3] The manufacture approach of the semiconductor device characterized by coming to have the process which conducts inspection of an intermediate product or a finished product with defective test equipment according to claim 2.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPI are not responsible for any

damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the observation equipment and the defective test equipment of a semiconductor substrate which used the charged particle beam.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, the scanning electron microscope (SEM) has mainly been used for observation of the minute object on the front face of a body, such as inspection of a semiconductor device. However, SEM irradiated one on an electron beam observation side, detected the secondary electron and reflection electron which are generated from an irradiating point, and the back scattering electron, forms an image by scanning an irradiating point, and had the problem that observation took time amount seriously. As equipment which solves this, irradiate an electron ray in the

shape of a field in an observation side, accelerate the electron and back scattering electron which are reflected as a result, make it converge, carry out expansion projection of the image according to an electron optics system, an image pick-up side is made to carry out image formation, optical intensity-distribution conversion of the electronic intensity distribution is carried out, and the equipment observed through optical map optical system is indicated by JP,10-197462,A and JP,11-64256,A. Among these, in the equipment indicated by JP,10-197462,A, a pattern is inspected by the high speed and high sensitivity by picturizing moving a sample stage to an one direction, and detecting the 2-dimensional image obtained from said image pick-up side by the TDI array CCD.

[0003] Moreover, the image pick-up side in which it was prepared by the image formation system (secondary optical system) in the perpendicular upper part can be made to carry out image formation of the secondary electron which carries out the vertical illuminator (epi-illumination) of the sample by the primary-electron beam generated from across, and is generated from a sample, the reflection electron, etc. by using the Wien filter (ExB) in the equipment indicated by JP,11-64256,A now. That is, ExB is used as a beam splitter.

[0004] In the equipment using ExB which is indicated by above-mentioned JP,11-64256,A, incidence of the charged-particle line for lighting is carried out at right angles to a sample side, and it has the description that a sample side is observable from a perpendicular direction.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in such a system, since said ExB is designed so that aberration may decrease to an image formation system (secondary optical system), having big aberration to an illumination system (primary optical system) is not avoided, but astigmatism is large [ExB] also especially in it.

[0006] Generally, primary optical system carries out image formation of the crossover image of an electron gun to the center position of an aperture diaphragm (NA) prepared after ExB, and subsequent optical system is designed so that the Koehler illumination which makes the light source the image by which image formation was carried out to the location of an aperture diaphragm may be constituted.

[0007] However, even if primary optical system tended to carry out image formation of the source of a charged particle to the location of an aperture diaphragm, the image formation property was changed for the astigmatism of said ExB, and there was a trouble that a predetermined lighting visual field and illuminance reinforcement were not obtained in a body side.

[0008] Moreover, the lighting size at the time of changing the scale factor of secondary optical system and the aspect ratio of the lighting visual field corresponding to the aspect ratio of each CCD at the time of using it as a detector, switching two-dimensional CCD and TDICCD were not able to be made suitable.

[0009] That is, even if it could change the aspect ratio of a lighting visual field, in the Mie quadrupole, predetermined flew, it could only set only to the value of **, futility arose in lighting visual field size, and lighting effectiveness was not suitable for lighting visual field size.

[0010] Then, this invention is made in view of such a situation, and aims at offering the manufacture approach of the charged particle beam microscope which can change continuously the aspect ratio and lighting visual field size of a lighting visual field, defective test equipment, and a semiconductor device.

[0011]

[Means for Solving the Problem] The primary optical system in which the first means for solving said technical problem has a multipole lens for the primary beam from the source of a charged particle, and the illumination-light study system illuminated to a sample side (body side) through the Wien filter, It is the charged particle beam microscope equipped with the map projection optics (secondary optical system) which carries out image formation of the electron generated from the illuminated this sample side (body side) to the image surface. The multipole lens of said primary optical system is the charged particle beam microscope (claim 1) characterized by arranging at least four steps.

[0012] Controlling the applied voltage of the four pole each lens of a 4-fold quadrupole lens, and uniting Xfocus and Yfocus with the astigmatism of ExB, if X scale factor and Y scale factor are changed, the lighting size of a request of a desired aspect ratio will be obtained.

[0013] The second means for solving said technical problem is defective test equipment (claim 2) characterized by coming to have a charged particle beam microscope according to claim 1.

[0014] The third means for solving said technical problem is the manufacture approach (claim 3) of the semiconductor device characterized by coming to have the process which conducts inspection of an intermediate product or a finished product with defective test equipment according to claim 2.

[0015]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the example of the operation gestalt of this invention is explained using a drawing.

[0016] Drawing 1 is the whole block diagram showing the example of the defective test equipment which used the electron beam microscope which is an example of an operation gestalt.

[0017] Defective test equipment has the primary column 20, the secondary column 30, and the chamber 40.

[0018] The electron gun 21 is formed in the interior of the primary column 20, and the primary optical system which consists of 1 or 4-fold field-diaphragm FS quadrupole lenses 22-25 is arranged in accordance with the path of the electron beam (primary beam) 50 irradiated from an electron gun 21.

[0019] Moreover, the movable stage 41 is installed in the interior of a chamber 40 along the XY direction, and a sample 11 is laid on a stage 41.

[0020] the path of the secondary beam 60 generated from a sample 11 inside the secondary column 30 on the other hand -- meeting -- the cathode lens CL, aperture diaphragm AS, and electromagnetism -- the Wien filter (ExB (I Crosby)) 31 as prism, lenses 32 and 33, field-diaphragm FS2, and a detector 42 are arranged. At this time, the element arranged from the cathode lens CL before a detector 42 constitutes secondary optical system. On the other hand, a detector 42 changes an electron into light, it passes along the relay optical system 55, the output from the second detector 56 is inputted into a control unit 43, and the output of a control unit 43 is inputted into CPU45.

[0021] The control signal of CPU45 is inputted into the secondary column control unit 47 and the stage drive 44 which perform electromagnetic-field control impressed to ExB while it performs lens armature-voltage control of each lens in the primary column control unit 46 which performs armature-voltage control of the lens of primary optical system, and the secondary optical system 33.

[0022] Moreover, the stage drive 44 transmits the positional information of a stage to CPU45. Furthermore, the primary column 20, the secondary column 30, and the chamber 40 are connected with the evacuation system (un-illustrating). From this, the interior of the primary column 20, the secondary column 30, and a chamber 40 is exhausted by the turbine pump of an evacuation system, and a vacua is maintained.

[0023] It converges in response to the lens operation by primary optical system, and the electron beam (primary beam 50) from an electron gun 21 goes to ExB31. 26 and 27 are deflecting system.

[0024] As for the primary beam 50 which passed the primary optical system 22-25, the orbit is bent according to a deviation operation of ExB31. When a field and electric field were made to intersect perpendicularly, electric field are set to E and the rate of B

and a charged particle is set to v for a field, $ExB31$ makes only the charged particle which moves in the direction with which the Vienna conditions of $E=vB$ are filled go straight on, and bends the orbit of the charged particle which moves in the direction with which the Vienna conditions are not filled. If the magnetic pole 31 (B) to which a field is applied, and 90 degrees (E) of electrodes 31 to which electric field are applied are shifted and they are arranged as shown in drawing 2, to a primary beam 50, the force FB by the field and the force FE by electric field will occur in the same direction, and a beam orbit will be bent. On the other hand, since Force FB and Force FE work to hard flow and are mutually offset to a secondary beam 60, a secondary beam 60 goes straight on as it is. although this configuration itself is the same as the Wien filter which deflects an electron beam with that acceleration voltage -- this operation gestalt -- electromagnetism -- it is made to function as prism (beam splitter)

[0025] The primary beam which passed $ExB31$ reaches aperture diaphragm AS, is the location of this aperture diaphragm AS, and forms the image of a crossover of an electron gun. In response to the lens operation with the cathode lens CL, the primary beam which passed aperture diaphragm AS reaches on a sample 11, and where Koehler illumination conditions are fulfilled, it illuminates a sample 11.

[0026] Secondary optical system is explained. In drawing 1, the secondary electron and reflection electron of distribution according to the shape of surface type of a sample 11, quality-of-the-material distribution of a sample 11, change of potential, etc. are generated as a secondary beam 60 from the sample 11 by which the primary beam was irradiated.

[0027] This secondary beam passes aperture diaphragm AS arranged in the focal location of a cathode lens in response to the lens operation with the cathode lens CL, and reaches $ExB31$. As mentioned above, Field B and electric field E which are formed of $ExB31$ and which intersected perpendicularly mutually are set up so that the secondary beam from a sample 11 may fulfill the Vienna conditions. Thereby, the secondary beam which passed aperture diaphragm AS faces to two or more electron lenses 32 and 33, without this $ExB31$ deviating. in addition, the electromagnetism which it is not limited to it, but the orbit of a primary beam is made to go straight on, and bends the orbit of a secondary beam although the thing which the orbit of a primary beam is bent [thing] and makes a secondary beam go straight on was used with this operation gestalt -- prism may be used.

[0028] Field-diaphragm FS2 is formed into the secondary optical system 34, and this field-diaphragm FS2 serves as a sample 11 and conjugate about some of cathode lenses CL and electron lenses 32. The secondary beam 60 through this field-diaphragm FS2

reaches to a detector 42 through further two or more electron lenses 32. 35-38 are deflecting system.

[0029] At this time, the image of the sample 11 expanded according to secondary optical system is formed in the detection side of a detector 42. In addition, as an electron lens in secondary optical system, various things, such as a circular electron lens and a circular quadrupole, and an octpole, can be used. Moreover, since said secondary electron has initial energy as small as several eV, it can carry out the seal of approval of the electrical potential difference to said stage 41 and said sample 11, and can accelerate this secondary electron according to the potential difference with said 1st electrode of CL. A primary beam is slowed down.

[0030] A detector 42 consists of vacuum apertures which separate MCP which amplifies an electron, the fluorescent screen which changes an electron into light, and a vacuum system and the exterior, and changes into the image of a 2-dimensional light the image of the secondary electron which carried out image formation to the MCP front face. This 2-dimensional optical image passes along the relay optical system 55 which consists of a lens for making an optical image transmit, or other optical elements, is changed into an electrical signal with the 2nd detector 56 (2-dimensional CCD etc.), and is inputted into a control unit 43.

[0031] A control unit 43 reads the picture signal of a sample from an image sensor 56, and transmits it to CPU45.

[0032] CPU45 carries out defective inspection of a pattern by template matching etc. from a picture signal.

[0033] Moreover, the location of a stage 41 which is movable in the XY direction is read by CPU45 with the stage drive 44. And CPU45 outputs a drive control signal to the stage drive 44, makes a stage 41 drive, and conducts detection of an image, and inspection one by one.

[0034] In addition, if the picture signal of the sample 11 which the control unit 43 read is displayed on a display 48 as it is, it will become observation equipment for observing a sample based on an electron beam.

[0035] Generally, ExB has the power of a convex in the direction of an electrode, and the power of the effect of aberration generates it in the direction of a magnetic pole. Of course, there is high order aberration and it is not only an operation of a lens. However, a lens operation is dominant and it works like a toric lens. You may think that there is astigmatism in addition to a lens operation.

[0036] changing the applied voltage of the four pole each lens of these 4-fold quadrupole lenses 22-25 in the operation gestalt shown in drawing 1 , since the 4-fold

quadrupole lenses 22-25 are used for the illumination-light study system (primary optical system) -- especially, the image formation location of the direction of an electrode of ExB31 and the direction of a magnetic pole can be doubled with the power and the astigmatism of said ExB31, without using SUTIGU meter etc. Therefore, image formation of the crossover of an electron gun can be carried out on said aperture-diaphragm AS, and Koehler illumination of the sample can be carried out through a cathode lens (CL).

[0037] Moreover, it is since the 4-fold quadrupole lenses 22-25 are used for the illumination-light study system (primary optical system). The aspect ratio and lighting visual field size of a lighting visual field can be changed continuously. The reason is as follows.

[0038] If the scale factor of secondary optical system is changed, the optimal lighting visual field size will change.

[0039] Moreover, in Koehler illumination, if it opens as shown in drawing 3, and angle theta is changed, a lighting visual field will change. Namely, what is necessary is just to change the scale factor of primary optical system, in order to change the aperture angle theta.

[0040] Therefore, what is necessary is just to perform scale-factor change of primary optical system corresponding to scale-factor change of secondary optical system.

[0041] A quadrupole lens has a reverse polarity to a ***** electrode in the electrical potential difference same to the electrode which faces as shown in drawing 4, and when an absolute value impresses the same electrical potential difference, it is giving the lens operation. Since, as for a quadrupole lens, the lens power of the direction of X and the direction of Y differs, only one PATAMETA has one quadrupole lens.

[0042] The aspect ratio and visual field size of a lighting visual field are determined by four parameters, Xfocus, Yfocus, X scale factor, and Y scale factor.

[0043] In order to make said four parameters into a desired value, it is necessary to have a controllable quadrupole lens at least four steps corresponding to each parameter.

[0044] Controlling the applied voltage of the four pole each lens of said 4-fold quadrupole lens, and uniting Xfocus and Yfocus with the astigmatism of said ExB, if X scale factor and Y scale factor are changed, the lighting size of a request of a desired aspect ratio will be obtained.

[0045] Moreover, when field-diaphragm FS1 is a circle or an ellipse, and a circular beam and ellipse beam and FS1 are a square or a rectangle, a wafer 11 can be illuminated with a rectangle beam and a rectangle beam.

[0046] Moreover, multipoles, such as four or more steps of quadrupoles or four or more steps of octupoles, are sufficient instead of a 4-fold quadrupole lens.

[0047] Furthermore, an ion beam is sufficient as a charged particle beam. Moreover, a sample side (body side) is illuminated by not test equipment but the semi-conductor aligner, and the beam from all the sources of a charged particle, and it can apply to the charged particle beam map projection optics which carries out image formation to the image surface.

[0048] Next, how to manufacture a semiconductor chip (device which has a predetermined circuit pattern) equipped with the process which inspects using the defective test equipment concerning this invention is explained.

[0049] Drawing 5 is outline process drawing showing the production process of semi-conductor DEBAIZU. First, a silicon wafer is prepared and silicon oxide is formed on a silicon wafer (membrane formation process).

[0050] As the formation approach of silicon oxide, common knowledge techniques, such as the oxidizing [thermally] method which oxidizes a direct silicon wafer, a CVD method, and a spatter, are used.

[0051] in addition, each which mentions later the thin film which forms membranes at a membrane formation process -- it changes with basic patterns and they are refractory metal film, such as insulator layers, such as electric conduction film, such as aluminum, and silicon oxide, and a tungsten, etc.

[0052] Next, while applying a resist on the silicon wafer with which silicon oxide was formed (sensitization substrate) and installing in the wafer stage of a projection aligner, a mask is installed in a mask stage.

[0053] Incidence of the light injected from the illumination-light study system is carried out to a mask, and image formation of the image of the pattern formed on the sensitization substrate at the mask is carried out through projection image formation optical system (lithography process).

[0054] Next, the resist by which the predetermined pattern was imprinted is developed and the mask for etching is formed. After etching silicon oxide according to opening formed in the mask for etching, the mask for etching is removed (etching process).

[0055] Moreover, the resist pattern which carried out opening of the part which introduces an impurity at the lithography process which may form an impurity layer into a silicon wafer and was first mentioned above is formed, and an impurity (for example, B, P, As) is introduced into a substrate with ion-implantation by using this resist pattern as a mask (doping process).

[0056] Such an approach (a membrane-formation process, a lithography process, an

etching process, doping process) is repeated, each basic patterns (for example, circuit pattern for the pattern for forming the end connection (contact hole) of wiring which performs electrical installation between the pattern which specifies a component isolation region (active region), the pattern of a gate electrode, the pattern which specifies the source / drain field, and a component in the case of an MOS transistor, and the electrical installation between components etc.) are accumulated one by one on a wafer, and a semiconductor device and an integrated circuit are manufactured.

[0057] Defective inspection is conducted using the defective test equipment concerning an operation gestalt after the process of a single string of a membrane formation process, a lithography process, an etching process, and a doping process.

[0058] It is discarded when judged as a defective by defective inspection, and when judged as an excellent article, the following layer pattern is formed through a membrane formation process, a lithography process, an etching process, and a doping process.

[0059] Thus, it inspects after the pattern formation of a series of each class using the defective test equipment concerning an operation gestalt.

[0060] Wiring which connects the component on a silicon wafer electrically is formed (metallizing process).

[0061] Slitting is put into a dicing line (clearance between chips) for the purpose of dividing a silicon wafer into each chip (dice) (dicing process).

[0062] Finally, a semiconductor chip is enclosed with a package (assembly process).

[0063]

[Effect of the Invention] electromagnetism [as opposed to / according to the charged particle beam microscope and defective test equipment which are applied to this invention as explained above / primary optical system (illumination-light study system)] -- while removing the effect of the aberration of prism (ExB) mostly, the aspect ratio and lighting size of a lighting visual field can be changed continuously.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any

damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing which applied this invention to charged particle beam map projection optics.

[Drawing 2] electromagnetism -- it is drawing showing an operation of prism (ExB).

[Drawing 3] It is drawing which expresses relation with a lighting visual field as the aperture angle of the electron ray at the time of Koehler illumination.

[Drawing 4] It is drawing showing the applied voltage to a quadrupole lens.

[Drawing 5] It is outline process drawing showing the production process of semi-conductor DEBAIZU.

[Description of Notations]

11 ... Sample (wafer)

20 ... Primary column

21 ... Electron gun

22 to 25...primary optical system (4-fold quadrupole lens)

26, 27, 35, 36, 37, 38 ... Deflecting system

30 ... Secondary column

31 ... electromagnetism -- prism (ExB)

32 33 ... Lens of secondary optical system

40 ... Chamber

41 ... Stage

42 ... Detector

43 ... Control unit

44 ... Stage drive

45 ... CPU

46 ... Primary column control unit

47 ... Secondary column control unit

48 ... Display

50 ... Electron beam (primary beam)

55 ... Relay optical system

56 ... The 2nd detector

60 ... Secondary beam

FS1, FS2 ... Field diaphragm

AS ... Aperture diaphragm

CL ... Cathode lens

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-242104

(P2001-242104A)

(43)公開日 平成13年9月7日 (2001.9.7)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	マーク [*] (参考)
G 0 1 N 23/225		C 0 1 N 23/225	2 G 0 0 1
H 0 1 J 37/12		H 0 1 J 37/12	4 M 1 0 6
37/29		37/29	5 C 0 3 3
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	J

審査請求 未請求 請求項の数 3 O.L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願2000-49305(P2000-49305)

(22)出願日 平成12年2月25日 (2000.2.25)

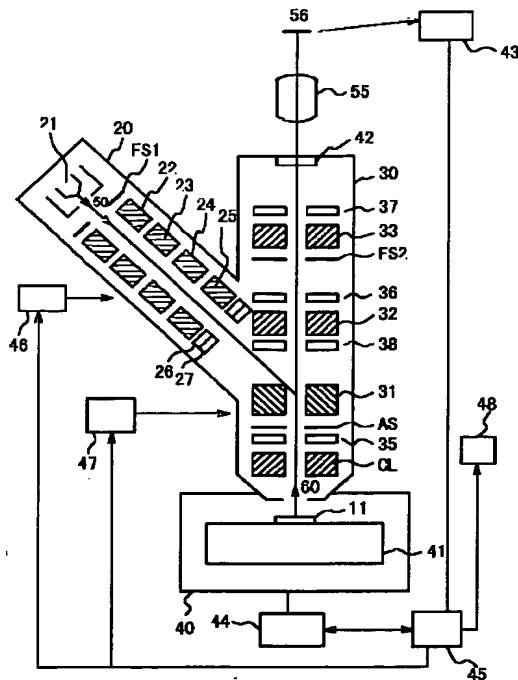
(71)出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(72)発明者 西村 宏
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内
Fターム(参考) 2G001 AA03 BA07 BA14 BA15 CA03
DA09 EA05 EA20 GA01 GA09
GA13 HA13 JA02 JA03 JA04
JA13 JA14 KA03 LA11 MA05
SA01 SA04
4M106 AA01 BA02 CA38 DB12
5C033 AA02 AA05 CC02

(54)【発明の名称】 荷電粒子ビーム顕微鏡、欠陥検査装置及び半導体デバイスの製造方法

(57)【要約】

【目的】 照明視野のアスペクト比及び照明視野サイズを連続的に変化させることができ可能な荷電粒子ビーム顕微鏡、欠陥検査装置及び半導体デバイスの製造方法を提供する。

【解決手段】 荷電粒子源からの1次ビームを、多極子レンズを有する一次光学系、ウィーンフィルター (E × B) を介して試料面 (物体面) に照明する照明光学系と、該照明された試料面 (物体面) から発生する電子を像面へ結像する写像投影光学系 (二次光学系) とを備えた荷電粒子ビーム顕微鏡であって、前記一次光学系の多極子レンズが、少なくとも四段配置されていることを特徴とする荷電粒子ビーム顕微鏡。



【特許請求の範囲】

【請求項1】荷電粒子源からの1次ビームを、多極子レンズを有する一次光学系、ウィーンフィルター（E×B）を介して試料面（物体面）に照明する照明光学系と、該照明された試料面（物体面）から発生する電子を像面へ結像する写像投影光学系（二次光学系）とを備えた荷電粒子ビーム顕微鏡であって、前記一次光学系の多極子レンズが、少なくとも四段配置されていることを特徴とする荷電粒子ビーム顕微鏡。

【請求項2】請求項1記載の荷電粒子ビーム顕微鏡を有することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項3】請求項2記載の欠陥検査装置により中間製品又は完成品の検査を行う工程を有することを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、荷電粒子ビームを用いた観察装置、半導体基板の欠陥検査装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、半導体デバイスの検査等、物体表面の微小物の観察には、主として走査型電子顕微鏡（SEM）が用いられてきた。しかしながら、SEMは電子ビーム観察面上の一点に照射し、照射点から発生する2次電子、反射電子や後方散乱電子を検出し、照射点を走査することにより画像を形成するものであり、観察に多大に時間がかかるという問題を有していた。これを解決する装置として、電子線を観察面に面状に照射し、その結果反射する電子及び後方散乱電子を加速して収束させ、電子光学系によりその像を拡大投影して撮像面に結像させ、電子強度分布を光強度分布変換し、光写像光学系を介して観察する装置が、特開平10-197462号公報、特開平11-64256号公報に記載されている。このうち、特開平10-197462号公報に記載される装置においては、試料ステージを一方向に移動させながら撮像を行い、前記撮像面から得られてた二次元画像をTDIアレイCCDで検出することにより、高速・高感度でパターンの検査を行うようになっている。

【0003】また、特開平11-64256号公報に記載される装置においては、ウィーンフィルター（E×B）を用いることにより、斜め方向から発生させた一次電子ビームにより試料を垂直照明（落射照明）し、かつ、試料から発生する2次電子、反射電子等を、結像系（二次光学系）によって垂直上方に設けられた撮像面に結像させることができるようになっている。すなわち、E×Bをビームスプリッターとして使用している。

【0004】前述の特開平11-64256号公報に記載されるようなE×Bを用いた装置においては、照明用荷電粒子線を試料面に垂直に入射させ、かつ試料面の観察を垂直方向から行うことができるという特徴を有して

いる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このようなシステムにおいて、前記E×Bは結像系（二次光学系）に対して収差が少なくなるように設計されるので、照明系（一次光学系）に対しては大きな収差を持つことが避けられず、その中でも特に非点収差が大きい。

【0006】一般に、一次光学系は、E×Bの後に設けられている開口絞り（NA）の中心位置に電子銃のクロスオーバー像を結像し、その後の光学系は、開口絞りの位置に結像された像を光源とするケーラー照明を構成するように設計されている。

【0007】しかしながら、一次光学系が荷電粒子源を開口絞りの位置に結像しようとしても、前記E×Bの非点収差のため結像特性が変更され、物体面で所定の照明視野、照度強度が得られないという問題点があった。

【0008】また、二次光学系の倍率を変化させた場合の照明サイズと、検出器として2次元CCD及びTDI CCDを切り換えて使用する際の各CCDのアスペクト比に対応した照明視野のアスペクト比と適切にすることができなかった。

【0009】即ち、照明視野のアスペクト比を変化させることができても、三重四極子では、照明視野サイズは、所定の飛び々の値のみに設定できるだけであり、照明視野サイズに無駄が生じ、照明効率が適切ではなかった。

【0010】そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、照明視野のアスペクト比及び照明視野サイズを連続的に変化させることが可能な荷電粒子ビーム顕微鏡、欠陥検査装置及び半導体デバイスの製造方法を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための第一の手段は、荷電粒子源からの1次ビームを、多極子レンズを有する一次光学系、ウィーンフィルターを介して試料面（物体面）に照明する照明光学系と、該照明された試料面（物体面）から発生する電子を像面へ結像する写像投影光学系（二次光学系）とを備えた荷電粒子ビーム顕微鏡であって、前記一次光学系の多極子レンズが、少なくとも四段配置されていることを特徴とする荷電粒子ビーム顕微鏡（請求項1）である。

【0012】四重四極子レンズの各四極子レンズの印加電圧を制御し、Xfocus、YfocusをE×Bの非点収差にあわせつつ、X倍率、Y倍率を変化させれば所望のアスペクト比の所望の照明サイズが得られる。

【0013】前記課題を解決するための第二の手段は、請求項1記載の荷電粒子ビーム顕微鏡を有することを特徴とする欠陥検査装置（請求項2）である。

【0014】前記課題を解決するための第三の手段は、請求項2記載の欠陥検査装置により中間製品又は完成品

の検査を行う工程を有してなることを特徴とする半導体デバイスの製造方法（請求項3）である。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態の例を図面を用いて説明する。

【0016】図1は、実施形態の一例である電子ビーム顕微鏡を使用した欠陥検査装置の例を示す全体構成図である。

【0017】欠陥検査装置は、一次コラム20、二次コラム30およびチャンバー40を有している。

【0018】一次コラム20の内部には、電子銃21が設けられており、電子銃21から照射される電子ビーム（一次ビーム）50の経路に沿って、視野絞りFS1、四重四極子レンズ22～25よりなる一次光学系が配置される。

【0019】また、チャンバー40の内部には、XY方向に沿って移動可能なステージ41が設置され、ステージ41上には試料11が載置される。

【0020】一方、二次コラム30の内部には、試料11から発生する二次ビーム60の経路に沿って、カソードレンズCL、開口絞りAS、電磁プリズムとしてのウィーンフィルター（E×B（イー・クロス・ビー））31、レンズ32、33、視野絞りFS2、および検出器42が配置される。このとき、カソードレンズCLから検出器42までの間に配置される要素が二次光学系を構成している。一方、検出器42は電子を光に変換し、リレー光学系55を通り、第二の検出器56からの出力は、コントロールユニット43に入力され、コントロールユニット43の出力は、CPU45に入力される。

【0021】CPU45の制御信号は、一次光学系のレンズの電圧制御を行う一次コラム制御ユニット46、二次光学系33中の各レンズのレンズ電圧制御を行うと共に、E×Bに印加する電磁界制御を行う二次コラム制御ユニット47およびステージ駆動機構44に入力される。

【0022】また、ステージ駆動機構44は、ステージの位置情報をCPU45に伝達する。さらに、一次コラム20、二次コラム30、チャンバー40は、真空排気系（不図示）につながれている。これより、一次コラム20、二次コラム30、チャンバー40の内部は、真空排気系のターボポンプにより排気されて、真空状態が維持される。

【0023】電子銃21からの電子ビーム（一次ビーム50）は、一次光学系によるレンズ作用を受けて収束し、E×B31へ向かう。26、27は偏向器である。

【0024】一次光学系22～25を通過した一次ビーム50は、E×B31の偏向作用によりその軌道が曲げられる。E×B31は、磁界と電界とを直交させ、電界をE、磁界をB、荷電粒子の速度をvとした場合、E=vBのウィーン条件を満たす方向に移動する荷電粒子のみ

を直進させ、ウィーン条件を満たさない方向へ移動する荷電粒子の軌道を曲げるものである。図2に示すように、磁界をかける磁極31（B）と電界をかける電極31（E）を90°ずらして配置すると、一次ビーム50に対しては、磁界による力FBと電界による力FEとが同一方向に発生し、ビーム軌道は曲げられる。一方、二次ビーム60に対しては、力FBと力FEとが逆方向に働く、互いに相殺されるので二次ビーム60はそのまま直進する。この構成自体は電子ビームをその加速電圧により偏向させるウィーンフィルタと同じであるが、本実施形態では電磁プリズム（ビームスプリッタ）として機能させている。

【0025】E×B31を通過した一次ビームは開口絞りASに達し、この開口絞りASの位置で、電子銃のクロスオーバーの像を形成する。開口絞りASを通過した一次ビームは、カソードレンズCLによるレンズ作用を受けて、試料11上に達し、ケーラー照明条件が満たされた状態で試料11を照明する。

【0026】二次光学系について説明する。図1において、一次ビームが照射された試料11からは、二次ビーム60として、試料11の表面形状、試料11の材質分布、電位の変化などに応じた分布の2次電子および反射電子が発生する。

【0027】この二次ビームは、カソードレンズCLによるレンズ作用を受けて、カソードレンズの焦点位置に配置される開口絞りASを通過し、E×B31に達する。前述したように、E×B31によって形成される互いに直交した磁界Bと電界Eとは、試料11からの二次ビームがウィーン条件を満たすように設定される。これにより、開口絞りASを通過した二次ビームは、このE×B31により偏向されずに複数の電子レンズ32、33へ向かう。なお、本実施形態では、一次ビームの軌道を曲げて、二次ビームを直進させるものを用いたが、それに限定されず、一次ビームの軌道を直進させ、二次ビームの軌道を曲げる電磁プリズムを用いても良い。

【0028】二次光学系34の中には、視野絞りFS2が設けられており、この視野絞りFS2は、カソードレンズCL及び電子レンズ32の一部に関して試料11と共に共役となっている。この視野絞りFS2を介した二次ビーム60は、さらに複数の電子レンズ32を経て検出器42へ到達する。35～38は偏向器である。

【0029】このとき、検出器42の検出面には、二次光学系により拡大された試料11の像が形成される。なお、二次光学系中の電子レンズとしては、円形の電子レンズや四重極や八重極など種々のものを用いることができる。また、前記2次電子は、初期エネルギーが数eVと小さいため、前記ステージ41、前記試料11に電圧を印可し、前記CL第1電極との電位差により、該2次電子を加速することができる。一次ビームは減速される。

【0030】検出器42は、電子を増幅するMCPと、

電子を光に変換する蛍光板と、真空系と外部とを隔てる真空窓から構成され、MCP表面に結像した2次電子の像を二次元の光の像に変換する。この二次元光学像は、光学像を伝達させるためのレンズやその他の光学素子からなるリレー光学系55を通り、第2の検出器56（二次元CCD等）で電気信号に変換されて、コントロールユニット43に入力される。

【0031】コントロールユニット43は、撮像素子56から試料の画像信号を読み出し、CPU45に伝達する。

【0032】CPU45は、画像信号からテンプレートマッチング等によってパターンの欠陥検査を実施する。

【0033】また、ステージ駆動機構44によりXY方向に移動可能となっているステージ41の位置は、CPU45により読み取られる。そして、CPU45は、ステージ駆動機構44に駆動制御信号を出し、ステージ41を駆動させ、順次画像の検出、検査を行う。

【0034】なお、コントロールユニット43が読み出した試料11の画像信号をそのままディスプレイ48に表示すれば、電子ビームに基づいて試料を観察するための観察装置となる。

【0035】一般的に、E×Bは、電極方向に凸のパワーをもち、磁極方向には収差の影響のパワーが発生する。もちろん、高次の収差があり、レンズの作用だけではない。しかし、支配的なのは、レンズ作用で、トーリック・レンズのように働く。レンズ作用に加えて非点収差があると考えてもよい。

【0036】図1に示す実施形態において、照明光学系（一次光学系）に四重四極子レンズ22～25を用いているので、この四重四極子レンズ22～25の各四極子レンズの印加電圧を変更することにより、特にスティグメータ等を用いることなしに、E×B31の電極方向、磁極方向の結像位置を前記E×B31のパワー及び非点収差に合わせることができる。よって、電子銃のクロスオーバーを前記開口絞りAS上に結像し、カソードレンズ（CL）を介して試料をケーラー照明することができる。

【0037】また、照明光学系（一次光学系）に四重四極子レンズ22～25を用いているので、照明視野のアスペクト比及び照明視野サイズを連続的に変化させることができる。その理由は次の通りである。

【0038】二次光学系の倍率を変化させると、最適な照明視野サイズが変わる。

【0039】また、ケーラー照明では、図3に示すように開き角θを変化させれば、照明視野が変化する。即ち、開き角θを変化させるためには、一次光学系の倍率を変化させればよい。

【0040】従って、二次光学系の倍率変化に対応して、一次光学系の倍率変化を行えばよい。

【0041】四極子レンズは、図4に示すように相対す

る電極に同一の電圧を、隣合う電極に極性が逆で絶対値が同一の電圧を印加することによってレンズ作用を持たせている。四極子レンズは、X方向、Y方向のレンズパワーが異なるため、1つの四極子レンズは、1つのパラメータしかもたない。

【0042】照明視野のアスペクト比及び視野サイズは、Xfocus、Yfocus、X倍率、Y倍率の4つのパラメータによって決定される。

【0043】前記4つのパラメータを所望の値にするために、各パラメータに対応して制御可能な四極子レンズを少なくとも4段備えることが必要となる。

【0044】前記四重四極子レンズの各四極子レンズの印加電圧を制御し、Xfocus、Yfocusを前記E×Bの非点収差にあわせつつ、X倍率、Y倍率を変化させれば所望のアスペクト比の所望の照明サイズが得られる。

【0045】また、視野絞りFS1が円又は楕円のときは、円形ビーム、楕円ビーム、FS1が正方形、または長方形のときは矩形ビーム、長方形ビームでウエハ11を照明できる。

【0046】また、四重四極子レンズのかわりに四段以上の四極子、又は四段以上の八極子等の多極子でも良い。

【0047】さらに、荷電粒子ビームはイオンビームでも良い。また、検査装置でなく、半導体露光装置や、すべての荷電粒子源からのビームにより試料面（物体面）を照明し、像面へ結像する荷電粒子ビーム写像投影光学系に適用できる。

【0048】次に、本発明にかかる欠陥検査装置を用いて検査を行う工程を備える半導体チップ（所定の回路パターンを有するデバイス）を製造する方法について説明する。

【0049】図5は、半導体デバイスの製造工程を示す概略工程図である。まず、シリコンウエハを用意し、シリコンウエハ上にシリコン酸化膜を形成する（成膜工程）。

【0050】シリコン酸化膜の形成方法としては、直接シリコンウエハを酸化する熱酸化法、CVD法、スパッタ法等の周知技術が用いられる。

【0051】なお、成膜工程で成膜する薄膜は後述するそれぞれ基本パターンによって異なり、アルミニウム等の導電膜、シリコン酸化膜等の絶縁膜、タンゲステン等の高融点金属膜等である。

【0052】次に、シリコン酸化膜が形成されたシリコンウエハ上にレジストを塗布し（感光基板）、投影露光装置のウエハステージに設置するとともに、マスクをマスクステージに設置する。

【0053】照明光学系から射出した光はマスクに入射し、投影結像光学系を介して、感光基板上にマスクに形成されたパターンの像を結像する（リソグラフィー工程）。

【0054】次に、所定のパターンが転写されたレジストを現像し、エッチング用マスクを形成する。エッチング用マスクに形成された開口に合わせてシリコン酸化膜をエッチングした後、エッチング用マスクを除去する（エッチング工程）。

【0055】また、シリコンウエハ中に不純物層を形成する場合があり、まず前述したリソグラフィー工程で不純物を導入する部分を開口したレジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクとしてイオン注入法によって下地に不純物（例えばB、P、As）を導入する（ドーピング工程）。

【0056】このような方法（成膜工程、リソグラフィー工程、エッチング工程、ドーピング工程）を繰り返して、各基本パターン（例えば、MOSトランジスタの場合、素子分離領域（活性領域）を規定するパターン、ゲート電極のパターン、ソース／ドレイン領域を規定するパターン、素子間の電気的接続を行う配線の接続口（コンタクトホール）を形成するためのパターン、素子間の電気的接続のための配線パターン等）をウエハ上に順次積み重ねて半導体素子、集積回路を製造する。

【0057】成膜工程、リソグラフィー工程、エッチング工程、ドーピング工程の一連の工程後、実施形態にかかる欠陥検査装置を用いて欠陥検査を行う。

【0058】欠陥検査により不良品と判断された場合は、廃棄され、良品と判断された場合は、成膜工程、リソグラフィー工程、エッチング工程、ドーピング工程を経て次層パターンを形成する。

【0059】このようにして一連の各層のパターン形成後、実施形態にかかる欠陥検査装置を用いて検査を行う。

【0060】シリコンウエハ上の素子を電気的に接続する配線を形成する（メタライズ工程）。

【0061】シリコンウエハを個々のチップ（ダイス）に分割することを目的としてダイシングライン（チップとチップの間の隙間）に切り込みをいれる（ダイシング工程）。

【0062】最後に、半導体チップをパッケージに封入する（アセンブリ工程）。

【0063】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明にかかる荷電粒子ビーム顕微鏡及び欠陥検査装置によれば、1次光学系（照明光学系）に対する電磁プリズム（E×B）の収差の影響をほぼ取り除くとともに、照明視野のアスペクト比及び照明サイズを連続的に変化させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を荷電粒子ビーム写像投影光学系に適用した図である。

【図2】電磁プリズム（E×B）の作用を表す図である。

【図3】ケーラー照明時の電子線の開き角と、照明視野との関係を表す図である。

【図4】四極子レンズへの印加電圧を示す図である。

【図5】半導体デバイスの製造工程を示す概略工程図である。

【符号の説明】

11 … 試料（ウエハ）

20 … 一次コラム

21 … 電子銃

22～25 … 1次光学系（四重四極子レンズ）

26、27、35、36、37、38 … 偏向器

30 … 二次コラム

31 … 電磁プリズム（E×B）

32、33 … 二次光学系のレンズ

40 … チャンバー

41 … ステージ

42 … 検出器

43 … コントロールユニット

44 … ステージ駆動機構

45 … C P U

46 … 一次コラム制御ユニット

47 … 二次コラム制御ユニット

48 … ディスプレイ

50 … 電子ビーム（一次ビーム）

55 … リレー光学系

56 … 第2の検出器

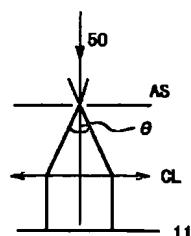
60 … 二次ビーム

F S 1、F S 2 … 視野絞り

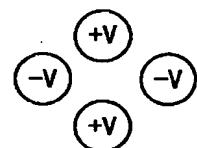
A S … 開口絞り

C L … カソードレンズ

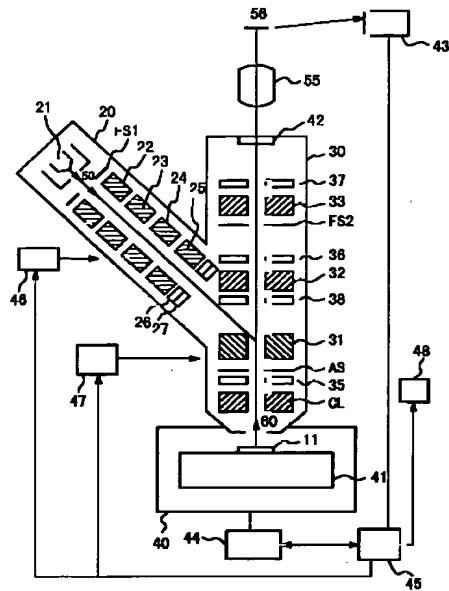
【図3】



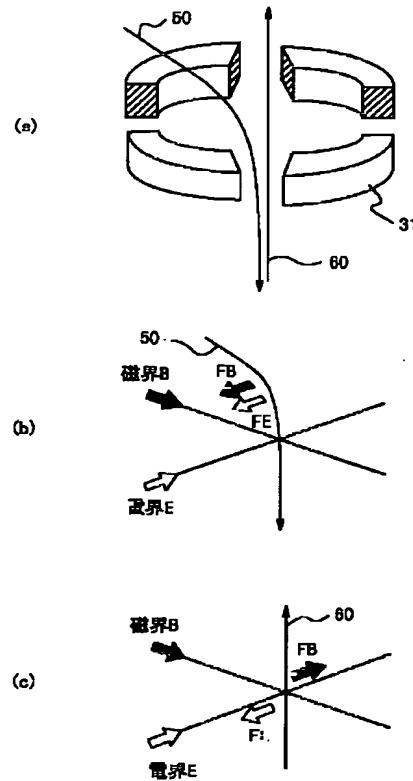
【図4】



【図1】



【図2】



【図5】

